

E5847

## Claims Description

**Methods and apparatus for contamination control in plasma processing.**Patent Number: ☐ EP0425419, A3Publication  
date: 1991-05-02Inventor(s): BENNETT REID STUART (US); ELLINGBOE ALBERT ROGERS (US); GIFFORD  
GEORGE GORDON (US); HALLER KURT LINDSAY (US); SELWYN GARY  
STEWART (US); SINGH JYOTHI (US); MCKILLOP JOHN SLATON (US)

Applicant(s):: IBM (US)

Requested  
Patent: ☐ JP3147317Application  
Number: EP19900480151 19900928Priority Number  
(s): US19890425659 19891023IPC  
Classification: C23C14/56 ; C23C16/50 ; C23C16/54 ; C23F4/00 ; H01L21/00EC  
Classification: C23C16/44 ; C23C16/44A ; C23C16/515 ; H01J37/32DEquivalents: BR9005281, CA2024637, JP2741713B2, ☐ US5367139**Abstract**

Contamination levels in plasma processes are reduced during plasma processing, by prevention of formation of particles, by preventing entry of particles externally introduced or by removing particles spontaneously formed from chemical and/or mechanical sources. Some techniques for prevention of formation of particles include interruption of the plasma by pulsing the source of plasma energy periodically, or application of energy to provide mechanical agitation such as mechanical shockwaves, acoustic stress, ultrasonic stress, vibrational stress, thermal stress, and pressure stress. Following a period of applied stress, a tool is pumped out (if a plasma is used, the glow is first discontinued), vented, opened and flaked or particulate material is cleaned from the lower electrode and other

surfaces. A burst of filtered air or nitrogen, or a vacuum cleaner is used for removal of deposition debris while the vented tool is open. Following this procedure, the tool is then be used for product runs. Alternatively, improvement of semiconductor process yields can be achieved by addition of reagents to getter chemical precursors of contamination particulates and by filtration of particulates from feedgas before plasma processing. The efficiency and endpoint for the applied stress are determined, by laser light scattering, using a pulsed or continuous laser source, e.g. a HeNe laser.



Data supplied from the esp@cenet database - I2

E 5847

⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑫ 公開特許公報(A)

平3-147317

⑮ Int. Cl.<sup>5</sup>

H 01 L 21/302  
C 23 F 4/00

識別記号

B  
A

庁内整理番号

8122-5F  
7179-4K

⑬ 公開 平成3年(1991)6月24日

審査請求 有 請求項の数 82 (全22頁)

⑭ 発明の名称 プラズマ処理における汚染を抑制するための方法及び装置

⑰ 特 願 平2-263230

⑱ 出 願 平2(1990)10月2日

優先権主張 ⑲ 1989年10月23日 ⑳ 米国(US) ㉑ 425659

⑳ 発 明 者 レイド・スタート・ベ アメリカ合衆国ニューヨーク州ワツビンガーズ・フオール  
ネット ズ、パイ・レン6番地  
㉒ 発 明 者 アルバート・ロジャー アメリカ合衆国カリフォルニア州バロ・アルト、ポート  
ス・エリングボー ラ・アベニュー1512番地  
㉓ 出 願 人 インターナショナル・ アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州 アーモンク(番  
ビジネス・マシーン 地なし)  
ズ・コーポレーション  
㉔ 代 理 人 弁理士 山本 仁朗 外1名  
最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称 プラズマ処理における汚染を抑制するための方法及び装置

2. 特許請求の範囲

(1) 静電的、電磁的、機械的、熱、圧力、検湿または化学的手段を適用して、プラズマ反応器系の粒子汚染をその場で除去することを含む、プラズマ反応器系内のプラズマ汚染を防止する方法。

(2) (a) 高周波電圧を印加して、上記反応器内でプラズマを発生させるステップと、

(b) 上記高周波電圧を周期的に短時間遮断し、その後再度上記高周波電圧を確立して、上記高周波電圧を印加して上記反応器内で上記プラズマを発生させるより長い時間の間に、周期的に上記高周波電圧及び上記プラズマを瞬間的に何度も遮断するステップと、

(c) 上記プラズマ処理が完了するまで、上記高周波電圧の上記短時間の遮断によって中断される上記反応器への上記高周波電圧の印加を、連続

して繰り返すステップと

を含むプラズマ処理の実行を含む、請求項(1)

に記載のプラズマ汚染を防止する方法。

(3) 上記の力を上記反応器内でかけて、上記反応器内で汚染をもたらす可能性のある粒子を、上記反応器の活性領域から離れた空間に移動させ、それによって上記反応器の前記活性領域内の汚染を減らすという、請求項(1)に記載の方法。

(4) 有向電磁波を使って上記プラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させることを含む、請求項(3)に記載の方法。

(5) 定常波を使って上記プラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させることを含む、請求項(3)に記載の方法。

(6) 上記定常波が電磁波からなるという、請求項(5)に記載の方法。

(7) 上記定常波が制御可能な位相シフトを有するという、請求項(6)に記載の方法。

(8) 上記電磁波が、上記反応器の対向する領域からの制御可能な位相シフトを有するマイクロ波場

からなるという、請求項(8)に記載の方法。

(9) パルス式、連続、または傾斜磁場を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らすことを含む、請求項(3)に記載の方法。

(10) 有向音波を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らすことを含む、請求項(3)に記載の方法。

(11) 定常音波を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らすことを含む、請求項(3)に記載の方法。

(12) 変換器によって生成された音波を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らすことを含む、請求項(3)に記載の方法。

(13) 装置内のパルス式ガス・フラックスによって生成された音波を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らすことを含む、請求項(3)に記載の方法。

(14) 上記反応器の両側に位置する2個の変換器を

いう、請求項(1)に記載の方法。

(21) 上記応力が、上記反応器を機械的に攪拌してエネルギーを上記粒子に移すことからなり、それにより上記粒子を上記反応器から除去させる準備をするという、請求項(20)に記載の方法。

(22) 上記応力が機械的衝撃波からなるという、請求項(20)に記載の方法。

(23) 上記応力が音波応力からなるという、請求項(20)に記載の方法。

(24) 上記応力が超音波応力からなるという、請求項(20)に記載の方法。

(25) 上記応力が振動応力からなるという、請求項(20)に記載の方法。

(26) 上記応力が熱応力からなるという、請求項(20)に記載の方法。

(27) 上記応力が圧応力からなるという、請求項(20)に記載の方法。

(28)(a) 加工物を高周波プラズマ・チェンバに装入するステップと、

(b) 高周波電圧を印加して、上記チェンバ内

を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らすことを含む、請求項(3)に記載の方法。

(15) 粒子線を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らすことを含む、請求項(3)に記載の方法。

(16) 電磁放射圧を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らすことを含む、請求項(3)に記載の方法。

(17) 上記電磁放射圧が、レーザーまたはコヒーレント光源からの光からなるという、請求項(16)に記載の方法。

(18) 熱勾配を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らすことを含む、請求項(3)に記載の方法。

(19) プラズマに有向エネルギー場を加えて、それによって荷電粒子または中性粒子の時間平均移動を行なう方法。

(20) 上記プラズマ反応器に応力を加えて、上記粒子を上記反応器壁面及び電極表面から除去すると

にプラズマを発生させ、上記プラズマを上記加工物に当てて、少なくとも上記加工物の片面でプラズマ処理を実施するステップと、

(c) 上記高周波電圧を周期的に短時間遮断し、その後再度上記高周波電圧を確立して、上記高周波電圧を印加して上記反応器内で上記プラズマを発生させるより長い時間の間に、周期的に上記高周波電圧及び上記プラズマを瞬間的に何度も遮断するステップと、

(d) 上記プラズマ処理が完了するまで、上記高周波電圧の上記短時間の遮断によって中断される上記チェンバへの上記高周波電圧の印加を、連続して繰り返すステップと、

を含むプラズマ処理を実行するための方法。

(29) プラズマ反応器内でプラズマを動作させる時間の間にチェンバに外部応力を印加することにより、プラズマ反応器内の汚染物質を含む上記反応器の内部表面上の付着層を除去することを含み、

上記の印加応力が、上記チェンバの表面上の上記付着層を破壊し、かつ薄片または粒子を上記表

面から緩めさせるのに十分な大きさである、

プラズマ反応器から汚染物質を除去する方法。

(30) 約5%未満程度の痕跡量のフッ化フィード・ガスを添加することにより、処理プラズマ中の粒子汚染を減らす、請求項(1)に記載の方法。

(31) 約5%未満程度の痕跡量の $CF_4$ または $NF_3$ フィード・ガスを添加することにより、処理プラズマ中の粒子汚染を減らす、請求項(1)に記載の方法。

(32) 処理前のプラズマを反応性ガスに露出させて、上記反応器の内部から水、酸素、または吸収された有機薬品を減らす、請求項(1)に記載の方法。

(33) 処理前に $CF_4$ または $NF_3$ プラズマを露出させ、それによって、プラズマ・チェンバ内部から水、酸素、または吸収された有機薬品を減らすことを含む、請求項(32)に記載の方法。

(34) 加工チェンバに導入する前に検湿フィルタを使って処理用フィード・ガスの水含有量を減らす、請求項(1)に記載の方法。

(35) 加工チェンバに導入する前にシリカゲル・フィ

ルタを使って処理用フィード・ガスの水含有量を減らす、請求項(34)に記載の方法。

(36) 加工チェンバに導入する前にシリカゲル・フィルタの前に少量の $SiF_4$ を処理用ガスと混ぜることにより、処理用フィード・ガスの水含有量を減らす、請求項(34)に記載の方法。

(37) フィード・ガスを加工チェンバに導入する前に、誘導プラズマの存在下でシリカゲル・フィルタ中で少量の $SiF_4$ と処理用ガスの混合物をフィード・ガスに混ぜ、それによって上記フィード・ガスの水及び水素性物質の含有量を減らすことを含む、請求項(34)に記載の方法。

(38) (a) 上記反応器をコヒーレント光源に当てて上記反応器内で散乱する光をその場で発生させるステップと、

(b) 上記反応器内で散乱する上記の光を検出するステップとを含む、

それにより上記散乱光を解析することにより上記反応器内の汚染を測定することができるという、請求項(1)に記載の方法。

(39) 上記コヒーレント光源が $HeNe$ レーザまたはダイオード・レーザからなるという、請求項(38)に記載の方法。

(40) ビデオ回路を用いて上記ステップbからのデータ信号で示される汚染を検出することにより、上記散乱光を検出する上記ステップbの結果からビデオ信号を発生させることを含む、請求項(38)に記載の方法。

(41) 上記高周波電圧のデューティ・サイクルが約0.90より大きいという、請求項(28)に記載の方法。

(42) 静電的、電磁的、機械的、熱、圧力、検湿または化学的手段を適用して、プラズマ反応器系内の粒子汚染をその場で除去するための汚染除去手段を含む、プラズマ反応器系内でのプラズマ汚染を防止するための装置。

(43) (a) 高周波電圧を印加して、上記反応器内でプラズマを発生させる手段と、

(b) 上記高周波電圧を周期的に短時間遮断し、その後再度上記高周波電圧を確立して、上記高周

波電圧を印加して上記反応器内で上記プラズマを発生させるより長い時間の間に、周期的に上記高周波電圧及び上記プラズマを瞬間的に何度も遮断する手段と、

(c) 上記プラズマ処理が完了するまで、上記高周波電圧の上記短時間の遮断によって中断される上記反応器への上記高周波電圧の印加を、連続して繰り返す手段と

を含む、プラズマ処理の際プラズマ汚染を防止するための、請求項(42)に記載の装置。

(44) 上記汚染除去手段が上記の力を発生し、上記の力を上記反応器内でかけて、上記反応器内で汚染をもたらす可能性のある粒子を、上記反応器の活性領域から離れた空間に移動させ、それによって上記反応器の前記活性領域内の汚染を減らすという、請求項(42)に記載の装置。

(45) 有向電磁波を使って上記プラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させる手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(46) 定常波を使って上記プラズマ反応器内の粒子

汚染物質を移動させる手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(47) 上記定常波が電磁波からなるという、請求項(46)に記載の装置。

(48) 上記定常波が制御可能な位相シフトを有するという、請求項(47)に記載の装置。

(49) 上記電磁波が、上記反応器の対向する領域からの制御可能な位相シフトを有するマイクロ波場からなるという、請求項(47)に記載の装置。

(50) パルス式、連続、または傾斜磁場を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らす手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(51) 有向音波を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らす手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(52) 定常音波を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らす手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(53) 変換器によって生成された音波を使ってプラ

(59) 熱勾配を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らす手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(60) 反応器手段と、

上記反応器内でプラズマを発生させる手段と、

上記プラズマに有向エネルギー場をかける手段とを含む、

荷電粒子または中性粒子の時間平均移動が行なわれる、

チェンバから粒子を除去するための装置。

(61) 上記プラズマ反応器に応力を加えて、上記粒子を上記反応器壁面及び電極表面から除去するための応力手段を備える、請求項(42)に記載の装置。

(62) 上記応力手段が、上記反応器を機械的に攪拌してエネルギーを上記粒子に移すエネルギー場を作り出し、それにより上記粒子を上記反応器から除去させる準備をするという、請求項(61)に記載の装置。

(63) 上記応力手段が機械的衝撃波を発生させると

プラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らす手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(54) 装置内のパルス式ガス・フラックスによって生成された音波を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らす手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(55) 上記反応器の両側に位置する2個の変換器を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らす手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(56) 粒子線を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らす手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(57) 電磁放射圧を使ってプラズマ反応器内の粒子汚染物質を移動させ、それによって汚染を減らす手段を含む、請求項(44)に記載の装置。

(58) 上記電磁放射圧が、レーザーまたはコヒーレント光源からの光からなるという、請求項(57)に記載の装置。

いう、請求項(61)に記載の装置。

(64) 上記応力手段が音波応力を発生させるという、請求項(61)に記載の装置。

(65) 上記応力手段が超音波応力を発生させるという、請求項(61)に記載の装置。

(66) 上記応力手段が振動応力を発生させるという、請求項(61)に記載の装置。

(67) 上記応力手段が熱応力を発生させるという、請求項(61)に記載の装置。

(68) 上記応力手段が圧応力を発生させるという、請求項(61)に記載の装置。

(69)(a) 加工物を高周波プラズマ・チェンバに装入する手段と、

(b) 高周波電圧を印加して、上記チェンバ内にプラズマを発生させ、上記プラズマを上記加工物に当てて、少なくとも上記加工物の片面でプラズマ処理を実施する手段と、

(c) 上記高周波電圧を周期的に短時間遮断し、その後再度上記高周波電圧を確立して、上記高周波電圧を印加して上記反応器内で上記プラズマを

発生させるより長い時間の間に、周期的に上記高周波電圧及び上記プラズマを瞬間的に何度も遮断する手段と、

(d) 上記プラズマ処理が完了するまで、上記高周波電圧の上記短時間の遮断によって中断される上記反応器への上記高周波電圧の印加を、連続して繰り返す手段と、

を含むプラズマ処理を実行するための装置。

(70) プラズマ反応器内でプラズマを動作させる時間の間にチェンバに外部応力を印加することにより、プラズマ反応器内の汚染物質を含む上記反応器の内部表面上の付着層を除去する手段を含み、

上記の印加応力が、上記チェンバの表面上の上記付着層を破壊し、かつ薄片または粒子を上記表面から緩めさせるのに充分な大きさである、

プラズマ反応器から汚染物質を除去する装置。

(71) 約5%未満程度の痕跡量のフッ化フィード・ガスを添加することにより、処理プラズマ中の粒子汚染を減らす手段を含む、請求項(42)に記載の装置。

フィルタの前に少量の $\text{SiF}_4$ と処理用ガスの混合物を収容する乾燥スペースを含むという、請求項(76)に記載の装置。

(78) 少量の $\text{SiF}_4$ と処理用ガスを含むフィード・ガス混合物を含む上記乾燥スペースと、フィード・ガスを加工チェンバに導入する前に、誘導プラズマを発生させる手段とを含み、それによって上記フィード・ガスの水及び水素性物質の含有量を減らすという、請求項(75)に記載の装置。

(79)(a) 上記反応器をコヒーレント光源に当てて上記反応器内で散乱する光をその場で発生させる手段と、

(b) 上記反応器内で散乱する上記の光を検出する手段とを含み、

それにより上記散乱光を解析することにより上記反応器内の汚染を測定することができるという、

請求項(42)に記載の装置。

(80) 上記コヒーレント光源が $\text{HeNe}$ レーザーまたはダイオード・レーザーからなるという、請求項(79)に記載の装置。

(72) 約5%未満程度の痕跡量の $\text{CF}_4$ または $\text{NF}_3$ フィード・ガスを添加することにより、処理プラズマ中の粒子汚染を減らす手段を含む、請求項(42)に記載の装置。

(73) 処理前のプラズマを反応性ガスに露出させて上記反応器の内部から水、酸素、または吸収された有機薬品を減らす手段を含む、請求項(42)に記載の装置。

(74) 処理前に $\text{CF}_4$ または $\text{NF}_3$ プラズマを露出させ、それによって、プラズマ・チェンバ内部から水、酸素、または吸収された有機薬品を減らす手段を含む、請求項(73)に記載の装置。

(75) 加工チェンバに導入する前に検湿フィルタを使って処理用フィード・ガスの水含有量を減らす手段を含む、請求項(42)に記載の装置。

(76) 処理用フィード・ガスの水含有量を減らす手段が、加工チェンバに入る前にシリカゲル・フィルタを含むという、請求項(75)に記載の装置。

(77) 処理用フィード・ガスの水含有量を減らす手段が、加工チェンバに入る前に上記シリカゲル・

(81) ビデオ回路を用いて上記ステップbからのデータ信号で示される汚染を検出することにより、上記散乱光を検出する上記ステップbの結果からビデオ信号を発生させる手段を含む、請求項(79)に記載の装置。

(82) 上記高周波電圧のデューティ・サイクルが約0.90より大きいという、請求項(70)に記載の装置。

### 3. 発明の詳細な説明

#### A. 産業上の利用分野

本発明は、プラズマ中の粒子汚染を減らすための装置及び方法に関する。

#### B. 従来の技術とその課題

半導体デバイス製造におけるプラズマ・エッチングの有効性は、汚染の問題によって低下してきた。

粒子汚染は、超小型電子材料のプラズマ処理の際にぶつかる主要な問題である。ある説によると、現在の半導体チップの歩留り損の50%は、製造中の粒子汚染の直接または間接的影響によるもの

という。将来の技術でデバイスの寸法が減少するにつれて、この割合は増大するものと予想される。今日、加工の歩留りを低下させている粒子のサイズは、巨視的サイズから1ミクロン以下のサイズにまで及ぶ。

粒子汚染は、プラズマ・エッチングまたはプラズマ付着で製造される超小型電子デバイスの性能及び信頼性に対しても極めて有害な影響を与える。粒子汚染によって、デバイスの故障、被膜の品質不良、材料の抵抗変化、不純物の浸透が起こる恐れがある。さらに、デバイスの寸法が減少するにつれて、エッチング・プロファイルをより厳格に制御するために、許容される粒子汚染の数、密度、寸法に対してより厳しい制限が必要となる。これらの要件を満たすには、ウェハの運搬及び取扱いの際に装置の表面への粒子付着を避けるクリーン・ルームが必要である。

(半導体用及び他の応用分野用の)クリーン・ルーム技術及び加工中の基板の取扱いの改良により、ウェハの取扱いや転写など加工中以外の露出

中にこれまでは顕著だった基板への粒子の導入が減少した。今ではプラズマ処理を含めて、工程段階中の粒子の形成が全汚染露出のかかなりの部分を占め、それに応じて歩留りが低下することがある。G. S. セルウィン (Selwyn)、R. S. ベネット (Bennett)、J. シング (Singh) の論文 "In-situ Laser Diagnostic Measurements of Plasma-Generated Particulate Contamination in RF plasmas", J. Vac. Sci. Tech. A, Vol. 7 (4), pp. 2758-2765 (1989年7月18日) 参照。

さらに、当業界の趨勢は、「統合真空処理」または「複数チェンバ処理」に向かっている。これは、以前には湿式または乾式の機械的手段によって除去された表面汚染が、より複雑になり、あるいは今では真空チェンバからの基板の除去が必要のため矯正不可能になる。複数チェンバ装置では、ある工程段階の前、最中、または完了時にウェハ上に落下する粒子が、その装置での後続の工程段階に対して特に厳しい影響を与えることがある。

Scattering in an RF Silane Discharge", App. Phys. Lett., 46(3), pp. 253-255 (1985年) 参照。

粒子汚染の影響は、選択的プラズマ・エッチング法を使用するとき倍化する。ある種のプラズマ・エッチング法では、フィード・ガスとエッチング条件の組合せを調節して、ウェハ上の材料表面を選択的にエッチングする。こうした選択性の高いプラズマ中で低速でエッチングされる粒子が化学的に形成されると、マクロマスキング、すなわちしばしば「グラス (grass)」と呼ばれる不規則な表面ができる。このエッチングされなかった材料のとげまたは山も、デバイスの性能を低下させ、加工の歩留りを下げる。

一般に考えられていることとは違って、これらの粒子の存在は必ずしもチェンバ壁面からの材料の剝落によるものではなく、均質な核形成など気相過程によることもある。このことから、クリーン・ルーム技術に厳しく配慮し、製造装置の清掃を頻繁に行なうだけでは、粒子汚染の問題が解決

本発明者等の研究室での最近の研究により、ある種のエッチング・プラズマは、製品汚染とデバイス故障の大きな原因となる粒子を生じ得ることが判明した。それらの実験により、粒子が処理プラズマ中で核形成し、成長し、かなりのサイズになるまで浮遊することが判明した。たとえば、直径1ミクロン未満から数百ミクロン程度までの粒子が形成される。それらの粒子が、同じ製造環境で製造中のデバイス上に最終的に落下することが問題である。粒子が皮膜付着またはパターン転写の前または最中に落下するなら、その工程段階が駄目になる可能性がある。ある工程段階の終りに落下する場合は、それらの粒子が以後の工程段階を駄目にする可能性がある。これらの汚染物質は、デバイスの歩留りや性能や信頼性に影響を与える欠陥をしばしば生じる。付着型プラズマ (シラン PECVD) でも類似の結果が見られた。R. M. ロス (Roth)、K. G. スピアズ (Spears)、G. D. シュタイン (Stein)、G. ウォング (Wong) の "Spatial Dependence of Particle Light

できないことがあり得ることが示唆される。プラズマ自体が製品の汚染を起こす可能性があるため、最高のクリーン・ルーム技術を使っても、「基礎レベル」の汚染が起こる可能性がある。したがって、粒子の形成を制御または除去しながらプラズマを操作する手段を開発することが重要である。さらに、工程中に存在する粒子を除去する技術も必要である。

#### 粒子形成機構の仮説

本発明者等の研究室で行なったレーザ光散乱の研究によれば、プラズマの組成とガス流量がエッチング・プラズマ中での粒子汚染の形成に大きな影響を及ぼすことが明らかになった。具体的には、ガス流が速いほどプラズマ中での滞在時間が短く、かつガス圧が低くプラズマ露出時間が短くなるが、これらはすべて、ある種のプラズマ中で粒子の形成を妨げる働きをする。このことから、粒子形成のための核形成及び成長の機構が示唆される。フィード・ガスの化学的性質も粒子の形成に重要な影響を及ぼす。含塩素プラズマは極めて

粒子を形成しやすいが、 $CF_4$ などの非塩素プラズマは粒子の形成が少ない。ただし、最も重要なことは、粒子の成長が最初はシース境界の真上の領域で起り、それを厚さ1mm未満の垂直領域に限定できる可能性があることが、空間的に分解したレーザ光の散乱実験で発見されたことである。

実験によれば、この領域はプラズマの陰イオンを捕捉し、その結果この領域におけるプラズマの陰イオンの濃度が高くなる。この現象は、G. S. セルウィン (Selwyn)、L. D. バストン (Baston)、H. H. サウイン (Savin) の "Detection of  $C_2$  and chlorine-containing Negative Ions in RF plasmas by Two-photon Laser-induced Fluorescence", Appl. phys. Lett., 51(12), pp. 898-900 (1987年) に説明されている。またその理論的説明は、M. S. バーンズ (Barnes)、T. J. コルター (Colter)、M. E. エルタ (Elta) の "Large-signal Time-domain Modeling of Low-Pressure RF Glow Discharges", J. Appl.

phys., 61(1), p. 81 (1987年) に出ている。

#### 本発明の波誘導態様

エッチング・プラズマに関するこれまでに発表された研究には、前記のサルウィン、ベネット、シングの論文がある。付着プラズマに関する研究には、K. G. スピアズ、T. M. ロビンソン (Robinson)、R. M. ロスの "Particle Distributions and Laser-Particle Interactions in an RF Discharge of Silane", IEEE Trans. Plasma Science, ps-14, pp. 179-187 (1986年) がある。エッチング・プラズマ及び付着プラズマに関する上記研究は、プラズマ中で形成された粒子がプラズマとシースの境界で浮遊する傾向があることを示している。この現象は、プラズマ中で粒子が負に帯電することによるものと考えられ、最近モデル化が行なわれた。本発明者等の実験室で行なったスパッタリン・プラズマについての研究でも、粒子の成長は見られなかったものの、同様の粒子の浮遊が見られた。

#### C. 課題を解決するための方法

本発明は、静電的、電磁的、機械的、熱、圧力、検湿 (hygroscopic) または化学的手段を適用して、プラズマ反応器系内の粒子汚染をその場で除去することからなる、プラズマ反応器系内のプラズマ汚染を防止する新規な改良された方法、ならびにそれに対応する装置を対象とする。

この方法ならびに装置は、次のようなステップを含むプラズマ処理の実行を含むことが好ましい。

(a) 高周波電圧を印加して反応器内でプラズマを発生させる。

(b) 高周波電圧を周期的に短時間遮断し、その後再度高周波電圧を確立して、高周波電圧を印加して反応器内でプラズマを発生させるより長い時間の間に、周期的に高周波電圧及びプラズマを瞬間的に何度も遮断する。

(c) プラズマ処理が完了するまで、高周波電圧の短時間の遮断によって中断される反応器への高周波電圧の印加を、連続して繰り返す。

反応器内で力を加えて、汚染をもたらす可能性



のある粒子をプラズマ反応器内を移動させる。粒子は反応器の活性領域から離れた空間に移動して、反応器の活性領域内の汚染が減少する。

有向電磁波または定常波を使って、粒子汚染物質をプラズマ反応器内を移動させる。定常波は電磁波でよい。定常電磁波は制御可能な位相シフトをもち得ることが好ましく、反応器の対向領域からの制御可能なマイクロ波場を含むことができる。

パルス状、連続、または傾斜磁場、あるいは有向音波、定常音波、または変換器で発生された音波を使って、粒子汚染物質をプラズマ反応器内を移動させ、汚染を減らすことができる。

別法として、装置内のパルス状ガス・フラックスで発生された音波を使って、または反応器の両側にある2個の変換器で発生された定常音波によって、粒子汚染物質をプラズマ反応器内を移動させて、汚染を減らすことができる。

また、粒子ビームによって、またはレーザまたはコヒーレント光源からの光によるものなど電磁放射圧力を使って、粒子汚染物質をプラズマ反

器内を移動させて、汚染を減らすことができる。

熱勾配を用いて、粒子汚染物質をプラズマ反応器内を移動させて、汚染を減らすことができる。

プラズマに有向エネルギー場を加える方法は、荷電微粒子または中性微粒子の時間平均移動をもたらす。この方法は、反応器手段と、反応器手段内でプラズマを発生させる手段と、プラズマに有向エネルギー場を加え、それにより荷電微粒子または中性微粒子の時間平均移動を実施する手段とを含む、チェンバから微粒子を除去する装置によって実現することができる。

プラズマ反応器に応力を加えて、反応器の壁面及び電極表面から粒子を除去する。

その応力は、反応器を機械的に攪拌してエネルギーを粒子に移し、それにより粒子を反応器から除去する準備をさせるエネルギー場からなる。

応力は、機械的衝撃波、音波応力、超音波応力、振動応力、熱応力または圧力応力でよい。

本発明はさらに、次のようなステップを含む、プラズマ処理を実行する方法を含む。

(a) 高周波プラズマ・チェンバに加工物を装入する。

(b) 高周波電圧を印加して、チェンバ内でプラズマを発生させ、そのプラズマに加工物を露出させて、加工物の少なくとも1表面でプラズマ処理を実行する。

(c) 高周波電圧を周期的に短時間遮断し、その後再度高周波電圧を確立して、高周波電圧を印加して反応器内でプラズマを発生させるより長い期間の間に、周期的に高周波電圧及びプラズマを瞬間的に何度も遮断する。

(d) プラズマ処理が完了するまで、高周波電圧の短時間の遮断によって中断されるチェンバへの高周波電圧の印加を、連続して繰り返す。

本発明の別の態様は、反応器内のプラズマの動作時間の間の時間にチェンバに外部応力を加えて、プラズマ反応器の内面に付着した汚染を含む層を除去することを含む、プラズマ反応器から汚染を除去する方法を含んでいる。加える応力は、チェンバ表面の付着層を破壊し、薄片または粒子を表

面から脱離させるのに十分なものとする。

プラズマ処理における粒子汚染物質の削減は、 $CF_4$ などのフッ素化フィード・ガスまたは $NF_3$ フィード・ガスを痕跡量追加することによって促進される。

また、処理前のプラズマを反応性ガスに露出することにより、反応器内の水、酸素または吸収された有機物質の量が減少する。

処理前に $CF_4$ または $NF_3$ をプラズマに露出させると、プラズマ・チェンバ内の水、酸素、または吸収された有機物質が減少する。

処理用フィード・ガスの含水量を減少させるには、フィード・ガスが処理チェンバに入る前に、検湿フィルタを使用する。

処理用フィード・ガスの含水量は、処理チェンバに入る前にシリカゲル・フィルタを使うと減少する。

処理用フィード・ガスの含水量は、処理チェンバに入る前にシリカゲル・フィルタの前に、少量の $SiF_4$ を処理用ガスと混合すると減少する。

別法として、フィード・ガスを処理チェンバに導入する前に、シリカゲル・フィルタ中に誘導プラズマが存在する状態で、少量の  $\text{SiF}_4$  と処理用ガスの混合物をフィード・ガスに混合することもできる。

本発明はさらに、反応器をコヒーレント光源に露出させて、反応器内で散乱する光をその場で発生させるステップと、反応器内で散乱する光を検出し、それにより散乱光の分析によって反応器内の汚染を測定するステップとを含む。

コヒーレント光源は、 $\text{HeNe}$  レーザまたはダイオード・レーザからなることが好ましい。ビデオ回路を用いて汚染物質を検出することにより、散乱光を検出するステップ (b) の結果からビデオ信号を生成することができる。

本発明はまた、本明細書で暗示される上記の機能すべてを実施するための手段をも含むが、それらを再説すると冗長になるので省略する。

上記その他の目的、特徴及び利点は、本発明の好ましい実施例についての下記の詳細な説明から

明らかとなるはずである。

#### D. 実施例

本発明者達は、処理プラズマにおけるいくつかの汚染源を発見した。あるエッチング用プラズマでは、「均質核形成」と呼ばれる気相プロセスによって微粒子や粒子が生成され、これはプラズマの陰イオンの局所的濃縮によって開始されることがある。実験データによって支持される仮説は、プラズマ内のシース境界より上で形成された陰イオンが捕捉されると、粒子が形成されてウェハ上に沈着するというものである。

これらのイオンは、電極やウェハやチェンバ器壁から静電的に反撥されるので、エッチング・プラズマ内では大きな役割は果たさない。陰イオンを捕捉する電場が、拡散やガス・フローによるそれらの損失をも防止すると仮定される。他の化学種（恐らくは中性成分）もイオン／誘導双極子の引力によって陰イオンに付着することがあり、こうして成長していく集塊の負電荷が、引き続きそれらの化学種をシース境界より上の領域に結合す

る。そのうちにこれらの集塊は肉眼で見える大きさにまで成長し、高周波場をオフにすると終には重力によってウェハ表面に落下する。一部の粒子はプラズマの陽イオンと衝突して中和され、プラズマ露出中に落下する。粒子形成の詳しい機構はわからないが、実験上の証拠から、粒子が電荷を帯び、プラズマのシース境界付近で静電的に浮遊することは明らかである。本発明者等は、類推により、陰イオンが粒子形成の「シード」として働くこともあり得ると考えている。というのは、陰イオンの形成に有利な条件と、粒子の形成を誘導する条件の間に密接な相関が見られるからである。

本発明者等は、均質核形成の機構として、下記のような機構を提案する。

1. エッチング生成物がプラズマ内で累積して陰イオンの形成をもたらす。
2. プラズマの陰イオンが静電力によってシース境界で捕捉される。
3. 陰イオンがプラズマの中性成分またはイオンと集塊になって成長し、最終的に荷電粒子の

形成をもたらす。

4. 荷電粒子はプラズマのシース境界で捕捉されたままとなる。一部の粒子は中和されてウェハ上に落下する。
  5. 捕捉された荷電粒子は、プラズマが遮断されたときウェハ上に落下して、表面を汚染する。
- また、超微細粒子を何らかの方法でプラズマ中に注入する場合、それらの微粒子は、粒子成長の核形成部位として振舞うことがあることを発見した。核形成部位が存在すると、巨視的粒子の形成が促進させる。上記の類推を続けると、プラズマ内に核形成部位を注入することは、庭に苗木を移植することによく似ている。そうすると、苗よりも成長が速い。均質核形成から形成される粒子と同様に、核形成部位から成長した粒子もプラズマ内で負に帯電し、したがってこれらの粒子はシース境界で静電的に浮遊する。

注入粒子の1つの供給源は、装置表面を目標物質または工程副産物あるいはその両方で被覆するために用いる、スパッタリング、付着、さらには

エッチング工程で形成される工程副産物の被膜である。工程完了後に、ウェハまたは基板を除去する。経済上及び便宜上から、装置はしばしば次のウェハ・パッチにも使用され、ランの間にざっと清掃する場合も多い。ある期間の間に、そのような物質の堆積物がたまって内部汚染源になる可能性がある。電極アーク処理、熱サイクル、機械的運動はすべて、装置付着被膜中への応力を誘発し、その結果堆積物が薄片として剝離する可能性がある。これらの薄片は、プラズマ内での成長ステップがない場合でもウェハをひどく汚染し、歩留りの損失や回路の信頼性の低下など、デバイスに関して問題を生じる可能性がある。この付着層をラン間に速やかに除去する手段、あるいは少なくとも装置を次に使用する際に剝落しそうな薄片を除去する手段が、特に望まれている。

プラズマ内の微粒子による汚染の問題を回避するには、均質な核形成を妨げ、同時に核形成部位、たとえば装置器壁堆積物からの粒子が生成され、あるいはプラズマ内に導入されるのを避けること

エッチング速度、選択性、装置や加工物へのイオンによる損傷など、工程段階の性能に大きな影響を与える可能性が高い。実際、 $Ar\ 90\%\ Ar$ と $CCl_2F_2\ 10\%$ のプラズマのアルゴンをネオンで置換するだけで、この方法が成功することを本発明者達は実証した。 $Ar/FR\ 12$  (アルゴン/フレオン12)のプラズマは大量の粒子形成を示したが、 $Ne/FR\ 12$ プラズマは同じ条件下で検出可能な粒子汚染をほとんど示さなかった。プラズマの化学組成の選択により、プラズマの負に帯電したキャリア (電子または陰イオン) 間の均衡を大きく変えることができ、それにより粒子の成長に前駆体の陰イオンが利用されるかどうかの影響を受ける。具体的に言うと、実験によれば、 $CCl_2F_2$ プラズマに少量 (5%) の $CF_4$ を添加すると、粒子汚染の量を減らすのに大いに効果があることがわかった。塩素を多量に含むプラズマにフッ素を含有するフィード・ガスを少量添加すると、塩素及びフッ素を含むエッチング生成物の均衡を変化させて、粒子形成を減らす効果が

が重要なことが判明した。

本発明に従って、プラズマ処理の間に微粒子による汚染を妨げる次の4つの方法を発見した。

- 1) 均質核形成による粒子形成の前駆体となる可能性のある陰イオンの形成を減らす。
- 2) 形成された粒子を掃引除去、捕捉、またはゲタリングし、あるいは粒子がウェハ表面に落下するのを防止する。
- 3) 陰イオンの成長または累積を阻止する。
- 4) 化学的または物理的手段によるプラズマ内への核形成部位の導入を減らす。

個々の状況では、工程、機器、その他の製造上の問題に対する制約の故に、ある方法の方が他の方法よりも好ましいことがある。

これらの技法に関する基礎知識を下記に示す。

#### 方法1 陰イオンの形成を減らす

第1の方法は、粒子の核形成を直接止めるもので、一番直接的なものである。しかし、プラズマ内での陰イオンの形成を変化させる最も一般的な方法は、フィード・ガスの組成を変えるもので、

ある。それにより、(上記の機構のステップ1に影響を与える) 陰イオン及び電子の間の均衡も変化する。これらの方法を使用すると、方法4に関する項で第8図または第9図に関して示唆するようにしない限り、粒子汚染の問題が改善されるが、フィード・ガスの組成が変化すると、工程段階に他の望ましくない影響が及ぶ可能性があるため、この方法は粒子汚染の問題に対する一般に受け入れられる解決策とはならない。

紫外レーザー光線などの外部エネルギー源を陰イオン捕捉領域に加えることにより、光解離プロセスによって陰イオンと電子の間の均衡を変えることが可能である。実験によれば、捕捉領域に高出力紫外レーザーを長時間当てると、荷電粒子の形成を防止できることがわかった。別法として、静電場または磁場を加えて、荷電粒子をプラズマの捕捉領域から移動させてもよい。静電場または磁場は、工程中に連続して加えてもよく、また工程完了時にプラズマ場が消滅したときに加えてもよい。この方法は、上記の機構のステップ4及び5に影響

響を与える。

方法2 形成された粒子を掃引除去、捕捉、またはゲタリングして、粒子がウェハ表面に落下するのを防止する。

プラズマ処理の間、化学的供給源または機械的供給源あるいはその両方により、粒子が存在する可能性がある。機械的供給源とは、プラズマ内に核形成部位が注入された結果生じる汚染である。これらの核形成部位は、プラズマ内での粒子成長の機会を高める可能性がある。

化学的供給源とは、気相エッチング生成物または反応剤とプラズマの荷電成分または中性成分との相互作用によって生じるものである。これらの粒子は、プラズマにさらされる時間が増すにつれてサイズが大きくなることが多い。

プラズマ処理の際の粒子形成に伴う問題を軽減する方法の1つは、静電的に浮遊する粒子がウェハ上に落下するのを防止するものである。この方法は、均質核形成によって形成される粒子、ならびにプラズマ中への核形成部位の注入から成長し

た粒子に対して効果がある。したがって、この方法はより一般的な応用分野をもつが、既存の加工装置に変更を加える必要がある。

汚染粒子の多くはプラズマ内で静電的に浮遊するので、力をかけて、加工チェンバの、粒子が生成物に影響を与えない領域に粒子を掃引除去、捕捉、または「ゲタリング」することにより、これらの粒子が下のウェハ上に落下するのを防止することが可能である。すなわち、粒子がチェンバ内で捕捉され、あるいは反応器チェンバ内の反応性雰囲気から吸着により除去される。

「ゲタリング」という言葉は、静電的に帯電したワイヤなどのゲッタを用いて系内から粒子を除去することを指す。

粒子をゲタリングする、あるいは粒子がウェハ上に落下するのを防止する方法は、既存の加工装置に大幅な変更を加える必要があるもので、やはり問題がある。さらに、荷電粒子を反撥させる静電方法は、プラズマの特性を変化させ、安全上の問題を生じ、さらには他の荷電化学種を引きつ

けることにより粒子汚染の問題を悪化させることさえある。上側電極上に製品表面を置くと、若干の粒子汚染が避けられるが、やはり装置の大幅な再設計が必要であり、ウェハに粒子が引きつけられるのを避ける上で部分的な効果しかない可能性がある。

プラズマ放電に横波誘導力を加えることにより、プラズマ内から粒子を「掃引除去」する方法を本発明者等は発見した。この波誘導制御の方法を、第1図及び第2図に示す。第1図及び第2図は、電磁波(EM)または音波(A)誘導による汚染抑制装置を示す。波変換器34(T)を、第2図のプラズマ反応器チェンバ10内のパターンで示される、円筒形で対称な波面または電磁波の供給源とすることができる。その場合、変換器34は、反応器チェンバ10内のプラズマ中に電磁波を発生させるためのマイクロ波アンテナとなる。音波の場合は、反応器チェンバ10内のプラズマ中に音波を発生させる変換器T34として、圧電変換器を使用する。プラズマ反応器チェンバ10内の

休止定常波パターンの節は、第2図に格子縞として示されている。任意の時点で振幅が正の領域に等高線が示されている。振幅は、電磁波または音波の基本周波数で振動する。放射される波の位相を同じ大きさで符号が逆の値だけシフトさせることにより、縦の節線が人為的にゆっくり移動し、下記で各タイプの定常波について述べるように、節で捕捉された粒子をチェンバの片側に移動させるのに必要な適切な力をもたらす。

壁面30の内部にあるプラズマ反応器チェンバ10は、プラズマ処理技術の当業者ならよく知っている通り、第2図に示すように、真空頭部31に接続されている。チェンバ10は、第1図に平面図で示す電極33に平行なウェハ32を含んでいる。この波誘導力は、ウェハ32の上の装置の危険領域から真空マニホールドや装置の縁部など危険でない領域へ粒子を「掃引除去」する効果をもつ。連続した電場を単に加えるだけで、荷電粒子の向きを変える効果があるが、そうするとプラズマの均一性に大きな影響を与えることが避けられ

ず、したがって加工上望ましくない。さらに、連続電場を加えると、イオンや電子などプラズマ中の低質量の荷電成分に対する影響が最大になる。上記の技法は、プラズマの均一性に対する影響があっても最小で、しかもなお装置の危険領域から粒子を掃引除去する効果がある。この方法は、プラズマ内の化学的供給源または機械的供給源あるいはその両方から発生する微粒子に対して効果がある。したがって、これは汚染抑制のための強力な手段となるはずである。第3図及び第4図の遮断技法と組み合わせると、プラズマ処理における積極的な汚染抑制の方法となる。

本発明のこの態様の重要な特徴は、処理中に横波を誘導することである。帯電し、チェンバ10内で放電中に静電的に浮遊する粒子は（さらには帯電せず浮遊していない粒子も）、海の波に運ばれるサーフボードのように、波の移動に支配される。さらに、（周波数や振幅など）波の条件は、より軽いプラズマ中の気体成分よりも大きな質量の粒子に一致するので、この波の誘導によって、

うに、プラズマ処理装置の両側にある別々の2つのマイクロ波アンテナ34を駆動するものである。この結果、2つの供給源の間の干渉によって定常波パターンが生じる。2つのアンテナ34から発する2つのマイクロ波場の干渉により、空間的に数cm離れて、マイクロ波強度が高いゾーンと低いゾーンが交互にできる。次いでマイクロ波放射線がプラズマ電子によって弱く吸収される結果、この吸収によって局所的イオン化速度が変わるために、プラズマ電位の僅かに高い（または低い）局所的区域ができる。このようにして、マイクロ波場の強い空間的変動が電子の吸収その他のプロセスを経て、浮遊電位の空間的変動に変換され、それがプラズマ中の荷電粒子に有向加速度を与える。

マイクロ波干渉の極大と極小の位置の移動は、一方のアンテナによって伝達される波長の位相を第2のアンテナに対して変えるだけで実施できる。この位相は $2\pi$ の周期で変化するので、局所プラズマ電位の変動により、マイクロ波放射線の波長

プラズマの時間平均した空間密度や組成は変化しないはずである。したがって、エッチング工程または付着工程用のプラズマの空間的均一性は影響を受けない。本発明は、浮遊粒子をプラズマの有用領域から、粒子がプラズマ中での浮遊状態から落下したとき電子基板32に衝撃を与えない領域へと掃引除去する働きをする。

プラズマ装置内で半径方向の波を発生される技術として、下記の3つが提案される。

1. 定常電磁波発振
2. 音波
3. 放射圧

#### 1. 定常電磁波発振

この粒子除去の方法は、外部から電磁放射線を当てて定常電磁波を発生させ、それをチェンバ10内のプラズマ中を緩やかに掃引して、プラズマ中に浮遊する静電的に荷電した粒子を除去するものである。このような系の一例は、単一のマイクロ波供給源を用いて、第1図及び第2図に示すよ

と長さの等しい、たとえば2.45GHzで長さ約7cmの領域が掃引される。この掃引プラズマ電位はプラズマ内のすべての荷電粒子に静電力を加えて、装置の縁部に押しやり、それらの粒子がチェンバ壁面30内のプラズマ装置の中央にある製品ウェハを汚染するのを防止する。

第1図を参照すると、一方のマイクロ波アンテナ34はワイヤ25によって位相シフト37の1端子に接続されている。他方のアンテナ34はワイヤ28によって位相シフト37の他端に接続され、ワイヤ27によって発振器38に接続されている。レーザ38がレーザ光線40を発生し、それがチェンバ壁面30のポート35を通して、通常のモータ駆動の走査可能に取り付けられたミラー39によって走査され、チェンバ壁面30内のプラズマ処理装置内部を走査する。検出器41が、第2のビュー・ポート35に並置され、レーザ光線40から散乱し検出器41で検出されたレーザ光線を使って、波誘導の有効性を決定し、装置がいつ製造に使えるほど清潔かを判定することがで

きる。

チェンバ壁面30内の反応器空間から粒子を掃引除去するのに必要なプラズマ電位の空間的変動を発生させるには、低レベルのマイクロ波放射線で充分である。反応器のどの地点でも時間平均したマイクロ波場は全く均一であり、したがってこの技法によって導入されるプロセスの均一性の変動は最小である。

傾斜磁場を使って荷電粒子の半径方向加速度を上げることにも可能である。これは(プラズマの強化を伴って)連続して加えてもよく、またパルス式に加えてプロセスの歪みを最小にすることもできる。

## 2. 音波

荷電粒子にも、特定の加工プラズマ中に存在する中性粒子にも効果のある、音波による微粒子ゲタリングの方法を2つ発見した。

### 半径方向圧力波

第1の音波による方法は、第2図のチェンバ壁面30内で圧力波を変換するもので、拡声器、圧

電素子、適当な形のオリフィスを通じたパルス式ガス・フローを発生する変換器など、いくつかのタイプの変換器によって実施される。粒子は、半径方向圧力波の圧力勾配から生じる伝播方向の力を受ける。その波長は、特定の微粒子質量分布に対してこの力を最適化して、粒子が潮の干満や海の波に運ばれる流木の動きのように、プラズマ中を移動するように選択する。

波の変換を起こす変換器の部位は、チェンバ壁面30の片側にあってもよく、その場合は、波のエネルギーにより、粒子がチェンバ壁面30の変換器とは反対側の面に集まる。変換器の部位がチェンバ壁面30によって画定される円筒形空間の中心に位置する場合は、圧力波は、滑らかな池に小石を投げ込んだ後のさざ波のように、半径方向で外側に全方向に移動し、したがって粒子は等しく縁部の周囲に集まる。

変換器が他の位置にあっても、粒子に対する作用の予測可能な変動が発生する。

### 定常音波発振

音波による第2の方法は、概念上電磁波について開示した定常波技法と類似しており、したがって粒子を直接移動するための上記の基準に必ずしも合致しない都合のよい音波周波数を使用することができる。第2図に示すように、上記のタイプの2つの音波変換器34が、チェンバ壁面30の両側に並んでいる。2つの変換器34は同じ周波数で駆動され、プラズマ中に定常波を生成する。定常波の腹は、音波周波数で周期的圧縮と膨張を受ける。したがって浮遊粒子は、一時的圧力勾配によって定圧力の領域へ、すなわち定常波の節へ移動する。一方の変換器を駆動する交流電源の位相を絶えず進め、他方の位相を同じ量だけ遅らせることにより、定常波の節がチェンバに対して移動する。したがって、節の「トラップ」中の粒子は加工チェンバの片側へ移動し、中央部での粒子汚染を減少させる。音波定常波の周波数は、変換インピーダンスが最小になり、節での浮遊粒子のゲタリングが最大になるように選択する。同様に、

位相の進み/遅れの度合は、特定の質量分布の粒子汚染が移動する節と共に最適に移動するように選択する。

## 3. 放射圧

この方法では、プラズマ中の粒子への運動量の移動が、レーザー、高出力ランプ、粒子線などのエネルギー源を装置に向けることによって生じる。放射圧、または粒子線からの運動量移動は、プラズマ中の微粒子に対してのみ効果を有し、プラズマの気体成分にはほとんどまたは全く効果をもたない。この概念は、前記のものと類似しており、浮遊粒子を装置の中央から危険のない外側の領域に「押し出す」というものである。パルス式レーザーや連続波レーザーが使用でき、ビームを装置の危険領域中でラスタするのが最も有利と思われる。

方法3 陰イオンの成長または集積を阻止する

この応用例の放電遮断部分によるプラズマ粒子汚染抑制のためのこの方法及び装置は、化学的に誘導された汚染に対する核形成及び成長の機構を

阻止する手段に関するものである。これは、放電の連続性を中断することにより、あるいは放電の化学組成を、陰イオンが形成しにくく、したがって集積が起り難いものに変えることによって行なう。粒子の成長及び累積を繰返し阻止することにより、エッチング工程にも装置構成にも大きな変更を必要とせず、粒子付着の問題を有効に防止することができる。

前掲のセルウィン等の論文は、プラズマ・シース領域での陰イオンの濃縮、及びプラズマ陰イオンの捕捉について記載している。

米国特許第4401507号明細書は、高周波変調器を267ミリ秒間遮断し、励起を87ミリ秒間だけ続けることを記載している。その目的は、反応剤がチャンバ中を移動するのに十分な時間をとることであり、この方法とは異なることを教示し、パルスのデューティ・サイクルが大幅に異なる。

米国特許第4500563号明細書では、オン/オフの切換えによって発生する高周波出力パル

スを使って、パルス反復速度6,000Hz、パルス幅0.05ミリ秒のパルス式高周波出力を発生させる。この例では、このパルス幅は、同特許第2図のパルス持続時間Tpを指すものと思われる。これは非常に短い遅延である。6,000Hzのとき、反復周期は0.17ミリ秒であり、したがって高周波がオフになる時間は次のようになる。

$$0.17 - 0.05 = 0.12 \text{ ミリ秒}$$

この値は、本発明の100ミリ秒に比べて3桁小さい。上記特許ではまた、インターリーブ式電極が必要であると記述しているが、本発明ではその必要はない。本発明は、1枚または数枚のシリコン・ウェハを工程中に露出する場合、1個または1組の高周波電極があれば充分である。

#### 放電遮断による汚染抑制の詳しい説明

本発明のこの態様は、プラズマ反応器中での放電を繰返し中断することにより、プラズマ加工における粒子汚染を阻止する装置及び方法に関するものである。第3図は、高周波供給装置16の高

周波出力"rf out"端子17から反応器の電極12へ通じる電極13によって高周波供給装置16からの高周波出力電圧に接続された、プラズマ反応器10を示す。高周波供給装置16は、第4図のパルスT(off)の時に電気制御パルスを受け取る。これらの電気制御パルスは、関数生成機構20から線19を介して高周波供給装置16の「ゲート・イン」端子18に供給される。この技法では、エッチングまたは付着ステップが完了するまで反応器10内での高周波放電を継続して動作させる代りに、線19を介してゲート18に送られるパルスにより、電線13と電極12に印加する高周波出力電圧を周期的に短時間ずつ遮断して、反応器10内の放電を瞬間的にただし完全に停止させる。その工程段階が完了するまで、プラズマの遮断を繰返す。本発明者等は、この方法で粒子の成長が阻止できるのは、放電が遮断されることに、陰イオン及び荷電粒子を捕捉する静電場が損失するためであると仮定している。その後、陰イオン、渠塊及び荷電粒子は、当業者には周知

の種類の排気線(図示せず)を通して、気流と一緒に反応器から自由に掃引除去される。放電遮断中に粒子が電極12上の各ウェハ上に落下する際に、電極13及び電極12に対する高周波電圧が充分頻繁に遮断される場合には、粒子は通常の場合に比べて十分に小さく(約0.1μm以下)なる。このプロセスの結果、ウェハ32上に形成される集積回路デバイスに悪影響は及ばない。

プラズマ反応器10内でのパルス式高周波プラズマ放電のデューティ・サイクルを第4図に示す。この技法を、エッチングまたは付着の特性の点でプラズマ放電の連続動作にできるだけ近づける(確立されている工程処法を最大限に活用するためにそれが望ましい)ため、プラズマのデューティ・サイクル、すなわち高周波のオン時間と全時間の比を大きくし、通常は0.9以上にすべきである。実験によれば、1サイクル当りのオフ時間を僅か0.1秒とし、オン時間を10秒とすると(デューティ・サイクル0.99)、全エッチング時間が7時間にわたる場合でも、肉眼で見え

る粒子の成長を防止する効果がある。また、40分処理の場合、このデューティ・サイクルにより、全処理時間が約24秒増すだけである。プラズマのオン時間とオフ時間の最良の比は、プラズマ中のガス滞留時間、圧力、および放電中の陰イオン捕捉の程度によって変わる。したがって、装置が異なり、またエッチングまたは付着ステップが異なれば、また放電をオフにするのに必要な周波数と、放電をオフにする必要のある時間の長さも異なる。高周波スイッチを駆動するタイミング回路、ソレノイド・スイッチ、一次高周波電源のゲート式動作、さらには放電の手動切換え等、様々な方法を用いて放電を遮断することができる。

また、デューティ・サイクルの小さな（すなわち50%以下）放電を使用すると、 $Si/SiO_2$  エッチングの選択性やエッチング速度などの特性が、連続して動作される同じ放電に比べて異なることにも留意されたい。これはプラズマ・オフ時間中に表面上で化学的エッチング除去が持続すること、及びイオンの叩込みが瞬間的に停止するこ

ろプラズマ・オン時間は、高いデューティ・サイクルが維持されるが、工程が不必要に長びかないように、集積が起こる最大時間にすると、大抵の場合は1~10秒である。場合によっては、エッチング生成物の累積が起こるまでの時間、放電を継続して動作させ、その後はパルス式に放電を行なうことで、粒子の累積を防止することもできることに留意されたい。

プラズマの遮断は、機械的汚染源に対しては効果がないことがある。というのは、プラズマのパルス化によって、粒子成長が起こらないプロセスは影響を受けないことがあり得るからである。機械的に誘導された汚染の一例は、石英スパック付着工程で生じるものである。この工程では、石英の薄片が装置表面から剝離して、ウェハを汚染することが知られている。汚染が発生してしまっからこの装置内で石英汚染をゲタリングする方法は、現在ない。このような機械的汚染源に対しては、下記の方法4や上記の方法2など別の手法が必要である。さらに、この汚染抑制技法では、エッ

とによる。

この方法は、簡単で効果的で安価で、しかも既存の装置構成に適合させやすい。プラズマ粒子成長を阻止する様々な方法のうちで、この方法は、既存の及び計画中の装置構成への応用の点で最も融通が効き、工程に対する望ましくない影響が最も少ないはずである。

要約すると、本発明のこの態様は、プラズマ・チェンバ内で多分前駆体プラズマ陰イオンから生じる、荷電粒子汚染の形成機構を阻害する手段にある。本発明のこの態様は、粒子の形成を阻害するため、プラズマ中での陰イオンの集積を阻止する方法（上記の方法3）にある。高周波放電を連続して動作させる代わりに、高周波電圧を繰返し短時間遮断し、またオンにして、周期的に放電を瞬間的にただし完全に停止させる。その工程段階が完了するまで、遮断プロセスを継続する。停止時間は、荷電場が消失し、荷電粒子がシース境界付近の捕捉領域から消散するのに十分な時間とし、大抵の場合は、100~500ミリ秒である。プ

ティング速度、選択性、均一性などの工程パラメータは変化しない。

方法4 化学的または物理的手段によるプラズマ内への核形成部位の導入を減らす。

上記のように、プラズマ装置の内部表面上に形成される副生物被膜が、粒子汚染源となることがあり得る。効果的な装置清掃方法を用いれば、この汚染源は除去されるはずである。装置清掃方法は、装置の分解検査が速く、付着物質を除去する効率が高く、製品ウェハに対する影響が最小のものであるべきである。その上、使用コストが安く、日常的に使用できる簡単なものであれば好都合である。本発明のこの態様による装置清掃方法は、これらの要件を満たす。フィード・ガスを精製して微粒子が形成しやすい気体成分を除去する方法も記述する。

波誘導によるプラズマ処理制御

化学的汚染源は、エッチング生成物または反応剤とプラズマの荷電成分または中性成分との相互作用から生じる。このような粒子は、プラズマに



露出する時間が増加するにつれて、サイズが増大することがしばしばである。先に第3図及び第4図に関して述べた本発明の態様は、化学的に誘導された汚染における核形成及び成長の機構を阻止する手段に関するものである。これは、放電の連続性を遮断することにより、あるいは放電の化学組成を、陰イオンが形成し難く、したがって集積し難いものに変えることによって行なう。

#### 応力誘導による工程汚染の抑制

第5図ないし第7図の実施例を参照すると、それらの実施例で例示される応力誘導は、外部応力を装置に加えることにより、製品を工程にかける前に装置表面上の付着物質を効率的に除去するものである。このような応力は、下記の6項で例示されるような、最も広い意味で、装置に加える機械力の形をとるとができる。その結果、製品の露出中の汚染抑制が改善される。

本発明のこの態様は、製品ラン間の（ウェーハや加工物が装置内にない）時間に、装置に外部応力を加えることにある。加える力は、装置表面の

#### 4) 振動応力

#### 5) 熱応力

#### 6) 圧応力

第5図、第6図及び第7図に、機械的振動を利用して反応器チェンバから汚染を除去する方法に関する本発明の特徴を示す。第5図は、プラズマ装置に用いる機械的応力点を示し、第6図は、プラズマ装置に用いる音波変換器を示す。

#### 機械的衝撃波

第5図に示す機械的衝撃波による手法では、通常は第5図に示した電磁作動式ハンマ48などの金属器具でチェンバ壁面30を叩くことにより、チェンバ壁面30内のプラズマ装置中に軽い衝撃波を伝搬させる。なお、第5図で、第1図と同じ部品は同じ番号で示す。この技法は、プラズマ動作中に行なった場合に、最も大きな効果が得られることがある。この技法の実験によれば、一般にチェンバ壁面をハンマ48で、約110～140 g/cm<sup>2</sup>の力で10～12回叩けば、ウェーハ32上に付着したプラズマ付着装置では充分である。

付着層を破壊し、付着被膜のひび割れによって生じた薄片または粒子を真空またはプラズマ中に落下させるのに充分なものとする。応力印加の効率及び終点は、技術者の自由裁量により、パルス式レーザまたは連続レーザ光源を使ってレーザ光散乱により決定できる。レーザは、それだけに限られるのではないが、HeNeレーザのような簡単なものでよい。ある時間応力を加えた後、装置の内容を排出し（プラズマを使用する場合は、グローをまず切る）、空気を通し、開き、下側電極その他の表面から薄片状または粒子状物質を清掃する。ろ過した空気または窒素を吹き込み、あるいは真空掃除機を使って、装置が開いている間に付着片を除去してもよい。この手順の後、装置は再び装置ランに使用できる。

#### 応力印加の方法

本発明による応力印加の方法は次の通りである。

- 1) 機械的衝撃波
- 2) 音波応力
- 3) 超音波応力

石英プラズマ付着装置という特定の場合では、アルゴン・プラズマ動作中に、（ウェーハのない、すなわち装置内に製品のない状態で）応力誘導の結果として多数の石英材料の薄片が認められた。

第10図及び第11図に、反応器チェンバを叩く前後の粒子数の測定値を示す。どのケースでもウェーハ4はハンマで叩いた地点に最も近く、ウェーハ1は最も離れている。第10図は1ミクロン未満の粒子の数を示し、第11図は最小2ミクロン程度の粒子の数を示す。破線は測定標準である。第10図の右側に示すような、叩いた後の結果は、何回かのランで、叩く前の結果より50～70%減少している。図からわかるように、この場合の結果は60%ないし70%の減少であり、平均よりやや良い。第11図のより大きな粒子についての結果も同様に改善されているが、図からわかるように叩いた場所に最も近い所ですっと大きく改善されており、ウェーハ4上のカウントはほぼゼロであるが、ウェーハ1のカウントは変わっていない。

## 音波応力

第6図及び第7図に示した音波応力による手法では、装置に大気圧または工程操作の低圧で音波周波数を当てる。スピーカの形の音響変換器またはそれと同等の音響変換器をプラズマ処理装置のチェンバ壁面30の内側または外側に使用することができる。この手法は、装置内にウェハがない状態で、プラズマ動作の直前に行なった場合、最も効率がよい。第6図に示した装置は、音響変換器61用の電源50とリード線51、及び音響変換器62用の電源52とリード線53を含んでいる。パルス生成装置54が、線55と56によって電源50と52に接続され、音響信号を発生して音響変換器61と62を付勢する。第7図に示した装置は、Oリング63でチェンバ側壁60に密封された上部壁64と下部壁65を含んでいる。

## 超音波応力

(上記の音波による方法と類似の) 超音波応力による手法では、装置に超音波周波数をかける。変換器61と62は超音波変換器である。これらの周

空素などの不活性気体を使って、第6図及び第7図の装置を大気圧以上に加圧する。排気線の弁を用いてこの超大気圧を突然に解放する。内部圧力の変化によって装置チェンバの側壁30が少し変形し、それに伴って気体衝撃波が生じる。この機械的応力と気体衝撃波によって、第6図及び第7図の壁面30、64、65上の付着被膜の破壊が促進される。また装置から排気線への急速なガス流出によって、粒子及び薄片が壁面30、64、65の装置内部表面から除去される。

これらの方法を単独でまたは組み合わせて使って、被膜の応力を高めることができる。上記のようなレーザ光線40と共に散乱するレーザ光を使って、応力誘導が有効かどうかを決定し、装置がいつ製造に使用できるほど清潔かを判定することができる。これらの手法を用いて、既存の装置構成をより清潔に、かつ汚染の変動がより少ない状態で操作することができる。衝撃波による方法の有効性は、第10図及び第11図に示すような石英付着装置で実証されている。

波数は、(石英などの) 付着材料の臨界周波数と一致させることができる。

## 振動応力

この手法では、装置全体に規則的なまたは不規則な振動をかけて、剝離しやすい物質を緩める。

## 熱応力

この手法では、高周波や石英装置中の壁面ライナなど、特に付着物に被覆されやすく薄片として剝離しやすい装置構成表示にヒータ・コイルを組み込む。これらのヒータに電流を瞬間的に流して、製品ランの間に急速に加熱を行なうことができる。金属リングと付着した被膜の熱膨張率が異なるため、急速加熱によって両方の材料の間に膨張応力が生じる。製品ラン中にこれらのヒータを使って温度を一定に保ち、薄片の剝離が特に望ましくないとき、製品露出時の熱応力を避けることができる。

## 圧応力

この手法では、当業者なら充分理解できるように、通常の圧縮気体供給源を用いて、アルゴンや

## 処理ガス添加及び反応性ろ過による工程汚染の抑制

第8図は、加工後のウェハ上に見られる微粒子汚染に対する、典型的な加工プラズマ(フレオン12/AR)( $\text{CCl}_2\text{F}_2/\text{Ar}$ )に痕跡量の $\text{CF}_4$ を添加することの効果を示すグラフである。第9図は、任意選択の誘導結合した加工前の汚染チェンバ94と検湿フィルタ98の設計を示す。チェンバ94とフィルタ98は、フィード・ガス供給線を介してプラズマ反応器チェンバ10に接続されている。

本発明のこの態様は、次のような粒子汚染レベルを下げる方法を含んでいる。

- 1) 塩素化化合物と窒素や硫黄などの重合体前駆体とを含むプラズマ処理、
- 2)  $\text{SiF}_4$ が主要プラズマ成分であり、 $\text{SiO}_2$ などのマスク表面に対するSiの高いエッチング選択性をもたらす、プラズマ処理。

本発明のこの態様によれば、第9図の壁面30で画定されるプラズマ処理チェンバ10内での粒

子形成を防止する方法が提供される。処理用フィード・ガスが、導管91を経て導管93に供給される。導管93は、フィード・ガスから粒子を除去する誘導チェンバ94の入口に接続されている。チェンバ94から、きれいになったガスが導管95を経て検湿フィルタ98の入口に送られ、そこでフィード・ガスから水蒸気が除去される。フィルタ98は、ろ過され乾燥されたガスを、線99を経てプラズマ処理反応器チェンバ10に供給するための出口を有する。

チェンバ94には、コイル96を付勢するための交流電源97に接続された、らせん状電磁誘導コイル96が巻き付けてある。第1の範疇の工程では、導管91に供給されるフィード・ガスに $\text{NF}_3$ や $\text{CF}_4$ などのフッ化ガスを少量添加して、プラズマ・ガスを変性させる。導管91中に供給されるガスにこうした少量の $\text{CF}_4$ を添加すると、エッチング工程に悪影響を及ぼすことなく、プラズマ中及びウェハ上の粒子汚染が大幅に減少することを実験で観察した。

第2の方法は、処理用フィード・ガス中の水分含有量または水の化学的形成を最小限に抑えるものである。本発明のもう1つの態様は、フィード・ガスを加工チェンバに導入する前に、誘導チェンバ94でその反応性ろ過を行なう方法を使用するものである。1つの実施例では、線92中の処理用フィード・ガスに痕跡量の $\text{SiF}_4$ を添加する。 $\text{SiF}_4$ は処理用フィード・ガス中の水分を反応によりゲタリングする。この混合物がプラズマ・チェンバ10に入る前に、シリカゲル・フィルタ98を通す。フィルタ98は、 $\text{SiF}_4$ と $\text{H}_2\text{O}$ の化学反応によって生じる酸化ケイ素微粒子を除去する。

第2の実施例では、電源97によって付勢されたときコイル96によって誘導される誘導プラズマをチェンバ94に加えて、 $\text{H}_2$ や炭化水素不純物など、フィード・ガス中の水素化合物の分解によって形成された水を除去する。この方法を使って、プラズマに露出されたとき水を形成する可能性のある、不純物を選択的に除去する。形成され

第8図は、ウェハ・スポットの数に対する、4%  $\text{CF}_4$ 添加の有効性を示す。純粋なフッ素も使用できるが、健康及び安全上の理由から余り望ましくない。比較のため、シリコン・エッチング中の $\text{CF}_4$ とアルゴンのプラズマの汚染のレベルと、装置内でのポンプ及び通気操作（プラズマなし）によって生じる結果のレベルを示してある。

第2の範疇の工程では、粒子の形成を防止する方法が2つある。第1の方法は、プラズマ処理中の酸素または水の形成を最小限に抑えるものである。プラズマと反応器10のチェンバ壁面30の相互作用によって、プラズマ内の酸素または水が解放されることがある。本発明者等は、デバイス加工の前に $\text{CF}_4$ または $\text{NF}_3$ のプラズマを使って加工前のチェンバをコンディショニングする方法を用いる。チェンバ10の壁面30をこのどちらかのプラズマに露出させると、吸収された酸素、ならびに $\text{CO}$ または $\text{NO}$ の形で吸収されたアルコールまたは水、及び $\text{HF}$ の排除及び蒸発が促進されるはずである。

た水分は、 $\text{SiF}_4$ との反応によって除去され、またフィルタ98中のシリカゲルに吸収される。

#### 産業上の応用性

本発明は、パーソナル・コンピュータ、ミニコンピュータ、大型コンピュータその他のデータ処理機器のような装置中の電子回路用を使用するための、集積回路チップなどの電子部品の製造に応用できる。さらに、このシステム及び方法は、そうしたチップを使用する産業用及び家庭用電子機器に応用できる。

#### E. 発明の効果

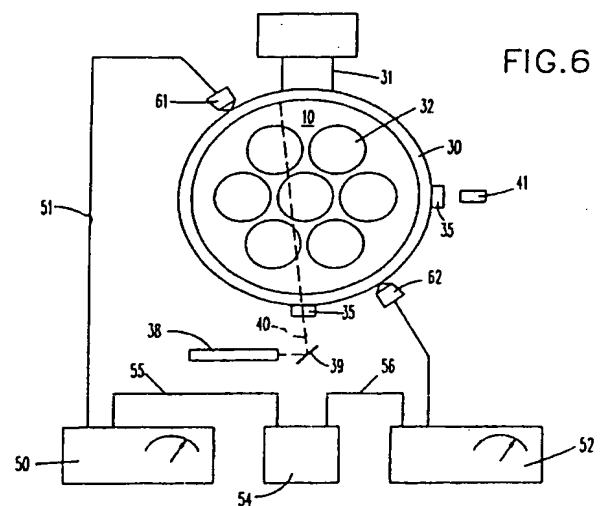
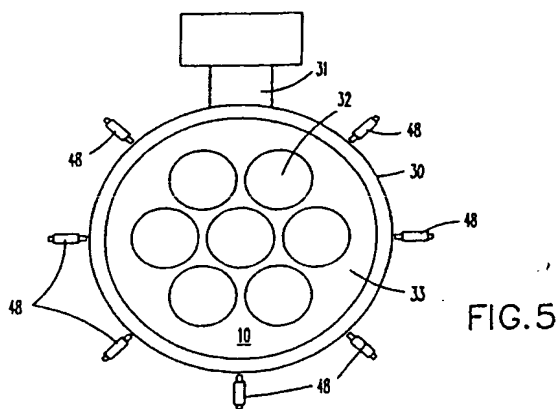
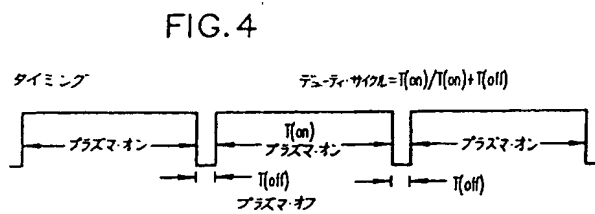
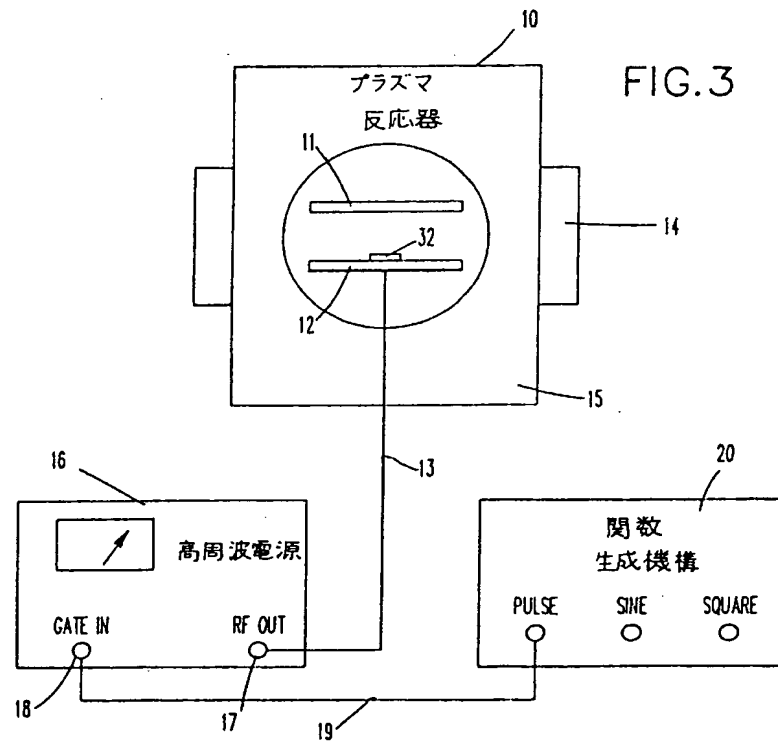
本発明により、プラズマ反応器系内の粒子汚染をその場で除去してプラズマ汚染を防止する新規な改良された方法及び装置が達成された。

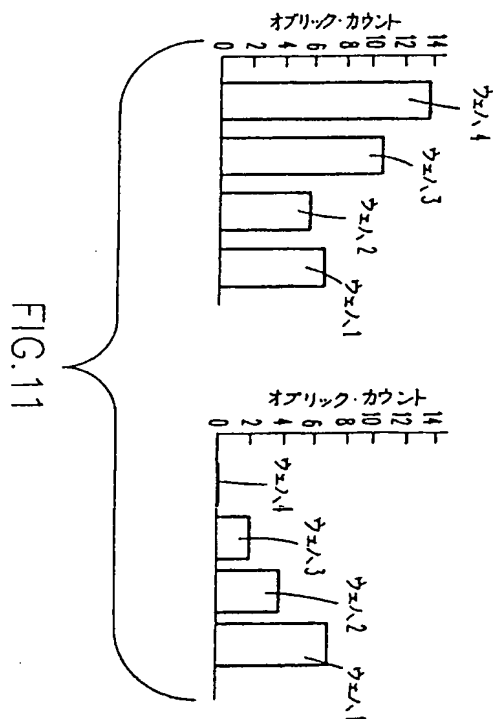
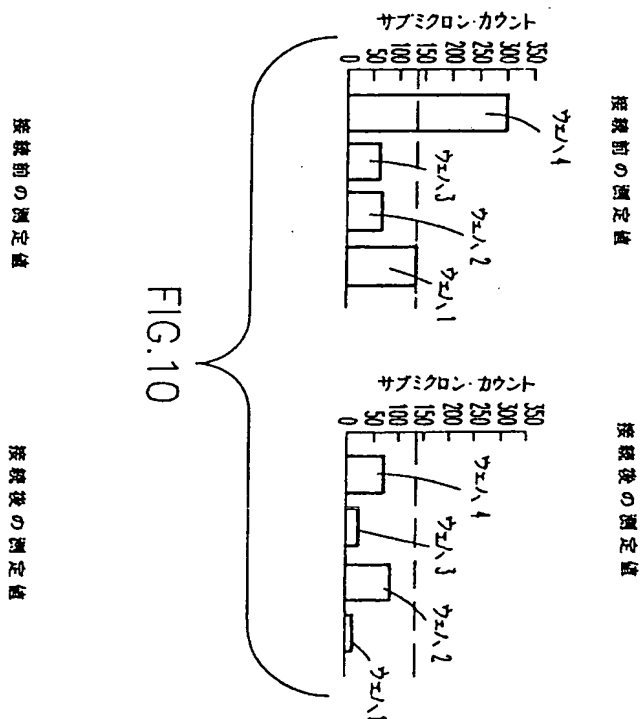
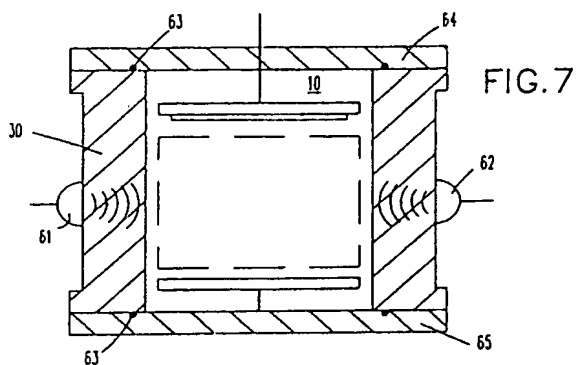
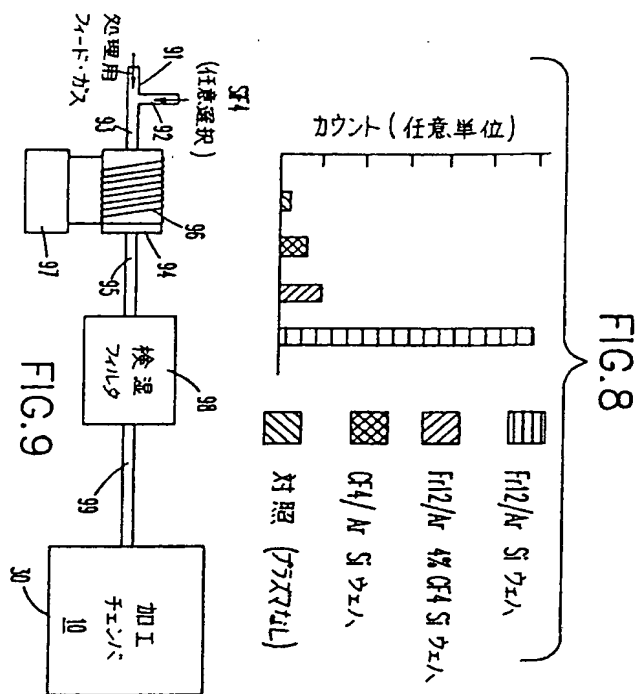
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は、波誘動制御を用いて、プラズマ反応器チェンバ内のプラズマ領域から粒子を除去するシステムを示す図である。

第2図は、電磁波(EM)誘導または音波(A)誘導により汚染を抑制する装置を示す図である。







第1頁の続き

- |       |                     |   |
|-------|---------------------|---|
| ⑦②発明者 | ジョージ・ゴードン・<br>ジフオード | アメリカ合衆国ニューヨーク州コートン・オン・ハドソン、セニツク・ドライブ19番地                |
| ⑦②発明者 | カート・リンドセイ・<br>ハラー   | アメリカ合衆国ニューヨーク州ビークスキル、アパートメント・ビー、スミス・ストリート305番地          |
| ⑦②発明者 | ジョン・スラトン・マ<br>ツキロツブ | アメリカ合衆国フロリダ州サテライト・ビーチ、オーシャン・レジデンス・コート7番地                |
| ⑦②発明者 | ガリー・ステewart・<br>セリン | アメリカ合衆国ニューヨーク州ホツブウエル・ジャンクシ<br>ョン、ビネブローク・ローブ14番地         |
| ⑦②発明者 | ジョシイ・シング            | アメリカ合衆国ニューヨーク州ホツブウエル・ジャンクシ<br>ョン、セレサ・コーブ・ドライブ・ノース5504番地 |